

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Tehnoloogiainstituut

Kätriin Julle

**Roboti KUKA youBot riistvara ja ROS-tarkvara uuendamine**

Bakalaureusetöö (12 EAP)  
Arvutitehnika eriala

Juhendajad:

Robotika dotsent Karl Kruusamäe  
Nooremteadur Robert Valner

Tartu 2019

# Resümee/Abstract

## **Roboti KUKA youBot riistvara ja ROS-tarkvara uuendamine**

Mobiilne robot KUKA youBot on oma funktsionaalsuselt päevakajaline nii teaduse kui õppetöö eesmärkidel, sest tegu on omniliikuva mobiilse manipulaatoriga. Ent roboti pardaarvuti (Intel Atom D510 Dual Core 1.66 GHz, 2 GB DDR2 RAM) on vananenud ja tootja poolt toetatud tarkvara (ROS Indigo ja Ubuntu 14.04) aegunud. Seetõttu oleks vajalik robot ajakohastada nii, et seda saaks kasutada kaasaegsetes lahendustes. Roboti ajakohastamiseks asendati KUKA youBoti pardaarvuti Intel NUCiga (Intel Core i5-4250U, 4 GB DDR3 RAM) ja paigaldati ROS Kinetic ning Ubuntu 16.04. Riistvara ja tarkvara uuendamise tulemusena tõusis KUKA youBoti pardaarvuti jõudlus. Suurim muutus toimus manipulaatori liigutusplaneerimisele kulunud ajas, mis vähenes enam kui 100 korda.

**CERCS:** T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering

**Märksõnad:** ROS, robotika, KUKA youBot

## **Upgrading robot KUKA youBot's hardware and ROS-software**

Mobile robot KUKA youBot is functionally relevant in research and education purposes because it is a omnidirectional mobile manipulator. But the robot's onboard computer (Intel Atom D510 Dual Core 1.66 GHz, 2 GB DDR2 RAM) and the software the manufacturer supports (ROS Indigo and Ubuntu 14.04) are out of date. For that reason the robot needs to be brought up to date so it could be used in modern solutions. To bring the robot up to date, KUKA youBot's onboard computer was replaced with Intel NUC (Intel Core i5-4250U, 4 GB DDR3 RAM) and ROS Kinetic and Ubuntu 16.04 were installed. As a result of upgrading The hardware and software, KUKA youBot's performance increased. The biggest change could be seen in the manipulator's movement planning time, where it decreased more than a 100 times.

**CERCS:** T120 Systems engineering, computer technology; T125 Automation, robotics, control engineering

**Keywords:** ROS, robotics, KUKA youBot

# Sisukord

<b>Resümee/Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Sissejuhatus</b>	<b>5</b>
<b>1 Kirjanduse ülevaade</b>	<b>6</b>
1.1 KUKA youBoti ülevaade	6
1.1.1 KUKA youBoti riistvara	6
1.1.2 KUKA youBot tarkvara	7
1.2 ROS (Robot Operating System)	8
1.2.1 ROSi tööpõhimõte	8
1.2.2 ROSi distributsioonid	9
1.3 ROS KUKA youBotil	9
<b>2 Ülevaade probleemist</b>	<b>11</b>
2.1 KUKA youBoti seis töö alguses	11
2.2 Olemasolev juhend	11
2.3 Töö eesmärk ja nõuded tööle	12
<b>3 Töö käik</b>	<b>13</b>
3.1 Riistvara uuendamine	14
3.1.1 KUKA youBoti ühendus pardaarvutiga	14
3.1.2 Intel NUC ülevaade	15
3.1.3 Pardaarvuti ühendamine	16
3.1.4 Arvuti kinnitamine roboti sisse	19
3.2 Tarkvara uuendamine	20
3.2.1 ROS-kimpude paigaldamisel tekkinud probleemid	21
3.2.2 Pääsupunkti ülesseadmine	21
3.3 IMS Robotics GitHub youBoti juhendid	22
3.4 Tulemuste analüüs	22
<b>4 Lõppjäreldused ja võimalikud tegevused tulevikus</b>	<b>25</b>
<b>Kokkuvõte</b>	<b>26</b>
<b>Viited</b>	<b>27</b>
<b>Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks</b>	<b>31</b>

# Sissejuhatus

Maailmas on laialt kasutusel erinevad robotid mitmetes erinevates valdkondades. Näiteks on tööstusrobotid laialdaselt kasutuses erinevates tootmisprotsessides. Lisaks tööstusrobotitele on aga laialdaselt kasutuses ka teadus- ja õppetöö jaoks suunitletud robotplatvormid, mis aitavad õppida, katsetada ja rakendada robotika kontseptsioone.

Robotite programmeerimises on maailmas laialdaselt kasutuses tarkvararaamistik ROS (*Robot Operating System*), mis lihtsustab erinevate robotite kasutamist ja võimaldab neile ühtset tarkvara luua. ROS koosneb paljudest ROS-kimpudest (*package*), mida on võimalik kasutada kõigis ROSi kasutatavates süsteemides.

Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudis on kasutusel mobiilne robot KUKA youBot koos vajaliku ROSi toega. KUKA youBoti enam ei toodeta ja tootjapoolne tugi on lõppenud, mille tõttu on robotil peal vananenud riistvara ja tarkvara. Robot on aga oma funktsionaalsuselt päevakajaline nii teaduse kui õppetöö eesmärkidel, mistõttu oleks vajalik robot ajakohastada nii, et see võimaldaks kaasaegseid lahendusi.

Käesoleva töö eesmärgiks on uuendada KUKA youBoti tarkvara ja riistvara ning luua juhendid antud roboti kasutamiseks nii õppe- kui ka teadustöös.

# 1 Kirjanduse ülevaade

## 1.1 KUKA youBoti ülevaade

KUKA youBot on tööstusrobotite tootja KUKA poolt 2010. aastal välja antud mobiilne mitmesuunaline (*omnidirectional*) robot [1]. KUKA youBot on mõeldud kasutamiseks näiteks teadustöös ja ülikoolides mobiilsete robotikaplatvormidega tutvumiseks. Roboti abil saab katsetada ja demonstreerida rajaplaneerimist, ruumi kaardistamist, objektide manipuleerimist ja autonoomset sõitmist [2].

### 1.1.1 KUKA youBoti riistvara



**Joonis 1.** KUKA youBot [3].

KUKA youBot koosneb omniratastel olevast alusvankrist ning sellel asetsevast manipulaatorist (joonis 1). Viie vabadusastmega manipulaatori otsas on ka lineaarne kaheosaline haarats, millest kumbagi juhatakse eraldi samm-mootoriga. Manipulaator suudab tõsta kuni 500 g raskust [1], [4]. Roboti rattad töötavad *Mecanumi* rataste [5] põhimõttel, mille abil suudab robot liikuda igas suunas [4].

Robotil on pardaarvuti (tabel 1), mis suhtleb roboti draiveritega üle EtherCAT [6] kommunikatsiooniprotokolli. Instruktsioonid saadetakse kahte juhtplaati, kus on implementeeritud EtherCATi ja eBUSi [7] vaheline lüüs (*gateway*) [4].

**Tabel 1.** KUKA youBoti pardaarvuti spetsifikatsioon [8].

Protsessor	Intel Atom D510 Dual Core 1.66 GHz
Muutmälu	2 GB DDR2
Püsिमälu	32 GB SSD
Pordid	6 x USB 2.0, 1 x VGA, 2 x LAN
Toide	12 V

KUKA youBoti on võimalik toita kas laadijaga otse vooluvõrgust või komplektis oleva akuga, mille tööaeg on kuni 90 minutit. Arvuti ning mootorite toiteplokk on võimalik eraldiseisvalt sisse ja välja lülitada [4].

### 1.1.2 KUKA youBot tarkvara

Roboti riistvara juhtimiseks on olemas Linuxipõhine avatud lähtekoodiga rakendusliides (*application programming interface (API)*), mis võimaldab robotit programmeerida C++'is. ROSis programmeerimiseks on olemas ROS-pakendid (*wrappers*), manipuleerimise ja navigeerimise funktsionaalsuseid pakkuvad ROS-kimbud ja simuleerimiseks vajalikud roboti mudelid [9].

## 1.2 ROS (Robot Operating System)

ROS on robotite tarkvara loomise ja integreerimise raamistik, mis koosneb tööriistadest, teekidest ja tavadest, mis on vajalikud keeruliste ning töökindlate robotite loomiseks [10].

Robotite programmeerimisel on inimese jaoks iseenesest mõistetavate ülesannete lahendamine keeruline. Näiteks mingi kindla eseme transportimine ühest ruumist teisse koosneb mitmetest alamülesannetest - keskkonna kaardistamine, kaardi järgi keskkonnas navigeerimine, objekti tuvastamine, objekti haaramine, jne. Sellise süsteemi loomine on ühe inimese, labori või institutsiooni jaoks ajamahukas ja keeruline, kuid kui alamülesanded erinevate gruppide vahel ära jagada, siis on antud probleemi lahendamine lihtsam. ROS ongi loodud just sellise laiaulatusliku koostöö tegemiseks ning pakub paljudele robotikas esinevatele tüüpprobleemidele lahendusi [11].

### 1.2.1 ROSi tööpõhimõte

ROSi tarkvara on organiseeritud kimpudeks, mis omakorda koosnevad näiteks sõlmedest (*node*), teekidest või konfiguratsioonifailidest. Kimpude eesmärgiks on tagada vajalik funktsionaalsus võimalikult lihtsalt [12].

Kimpude paigaldamiseks on kaks moodust. Esimene moodus on kasutada operatsioonisüsteemi paketihooldurit, mille puhul paigaldatakse antud kimp ametlikust Ubuntu koodihoidlast (*repository*) [13]. Teine võimalus on kompileerida kimp catkin-töökaustas (*catkin workspace*) [14] leiduva lähtekoodi põhjal.

Iga sõlm ühendub käivitamisel *roscore*'iga, mis varustab sõlmi ühendusinformatsiooniga, võimaldades sõlmedel leida teisi sõlmi ning vahetada andmeid [11].

ROSi süsteem koosneb mitmetest iseseisvatest sõlmedest, mis vahetavad omavahel informatsiooni. Informatsiooni vahetus käib läbi rubriikide (*topic*), mis koosnevad defineeritud



tüüpi sõnumitest. Sõlmed saavad rubriikidel olla nii tellijad (*subscriber*) kui kuulutajad (*publisher*) [11].

Kuulutaja lähtekoodis määratakse rubriigi nimi ning sõnumi tüüp, mida edastatakse. Tellija lähtekoodis määratakse rubriik, mille sõnumeid soovitakse sisendina ning seejärel jõuavad kõik antud rubriigi sõnumid sõlmeni, kus tellija defineeriti [11].

### 1.2.2 ROSi distributsioonid

Iga aasta mais avaldatakse uus ROSi distributsioon - igal paarisarvulisel aastal avaldatakse LTS (*Long Term Support*) ehk pikaajalise toega distributsioon ja igal paaritu arvuga aastal tavaline ROSi distributsioon [15]. Iga järgneva distributsiooni nimi algab järgmise tähestiku tähega, nt ROS Hydro Medusa (2013), ROS Indigo Igloo (2014), ROS Jade Turtle (2015) jne.

LTS-tüüpi distributsiooni toetatakse viis aastat, seejuures iga ROSi LTS distributsioon on kasutatav ühe kindla (sama aasta aprillis avaldatud) Ubuntu LTS distributsiooni peal ja eelneva aasta oktoobris avaldatud tavalise Ubuntu distributsiooni peal. Näiteks ROS Indigo (2014) on kasutatav Ubuntu 14.04 LTS (aprill 2014) ja Ubuntu 13.10 (oktoober 2013) peal ning ROS Kinetic (2016) kasutatav Ubuntu 16.04 LTS (aprill 2016) ja Ubuntu 15.10 (oktoober 2015) peal. Tavalist ROSi distributsiooni toetatakse kaks aastat ning see on kasutatav sama Ubuntu LTS distributsiooni peal kui eelneval aastal välja lastud ROSi LTS distributsioon. Lisaks on ROSi tavaline distributsioon kasutatav ka kahe tavalise Ubuntu distributsiooni peal - eelneva aasta oktoobris avaldatud Ubuntu tavalise distributsiooni ja sama aasta aprillis avaldatud Ubuntu tavalise distributsiooni peal. Näiteks ROS Lunar (2017) toetab Ubuntu 16.04 LTS (2016 aprill), Ubuntu 16.10 (2016 oktoober) ja Ubuntu 17.04 (2017 aprill) [15]–[17].

## 1.3 ROS KUKA youBotil

Töös kasutatavad ROS-kimbud:

- **youbot\_driver** on C++ klassidest koosnev draiver, mis annab youBoti riistvarale madala taseme juurdepääsu. Lisaks implementeeritakse seal youBotile spetsiifiline SOEM teegil põhinev EtherCAT ülem [18].
- **youbot\_driver\_ros\_interface** võimaldab suhtluse youbot\_driveri ning ROSi raamistiku vahel. See kimp võimaldab rataste ning manipulaatori liigutamist ROS-sõnumite abil [19].
- **youbot\_description** sisaldab KUKA youBoti kirjeldusi URDF failide ja *mesh*ide näol, mis on vajalikud youbot\_driver\_ros\_interface ning youbot\_simulation tööks [19], [20].
- **youbot\_manipulation** koosneb kimpudest, sealhulgas kiirkäivitusskripte, mis võimaldavad manipulaatori kasutamist. Sisaldab ka pistikprogramme (*plugin*) ning konfiguratsioonifaile ROS MoveIt! kasutamiseks [21].
- **youbot\_simulation** sisaldab KUKA youBoti maailmafailide geomeetriat, kinemaatikat, dünaamikat ja mudeleid URDF formaadis ning roboti Gazebo kasutamiseks vajalikke vahendeid ja kiirkäivitusskripte [22].
- **youbot\_navigation** sisaldab KUKA youBoti jaoks kohandatud ROS Navigation teeket ja tagab lokaalse navigeerimise ning takistuste vältimise funktsionaalsused kasutades laserskannerist saadud andmeid [23].
- **hokuyo\_node** võimaldab ROSile juurdepääsu Hokuyo laserskanneritele ning on vajalik youbot\_navigation kasutamisel [24].

## 2 Ülevaade probleemist

### 2.1 KUKA youBoti seis töö alguses

Kõige uuem ROSi versioon, mille jaoks on olemas kõik vajalikud youBoti kimbud ja millele on olemas kasutusjuhendid ametlikus KUKA youBoti vikis, on hetkel ROS Indigo, mis on kasutatav Ubuntu 14.04 peal [19]. Antud tarkvarakonfiguratsioon oli töö alguses kasutusel ka TÜ tehnoloogiainstituudi KUKA youBotil.

ROS Indigo ametlik tugi lõppes 2019. aasta aprillis [15], mis tähendab, et uusi veaparandusi enam välja ei lasta. Seega on roboti ajakohaseks kasutamiseks tarvis paigaldada uuem tarkvara.

Lisaks tarkvara vananemisele oli probleeme ka pardaarvuti töövõimekusega, mis juba Ubuntu 14.04 ja ROS Indigo konfiguratsiooni korral ei omanud piisavat arvutusjõudlust. Üks probleem oli graafilise kasutajaliidese kasutamine, näiteks kasutades manipulaatori liigutamiseks graafilist töövahendit RViz, oli maksimaalne kaadrisagedus 4 kaadrit sekundis.

### 2.2 Olemasolev juhend

Lõputöö alustamisel IMS Robotics GitHubis olnud juhend [25] KUKA youBoti kasutamiseks oli suunatud inimestele, kes on varasemalt robotite, Ubuntu ning ROSiga kokku puutunud.

Antud juhendi miinusteks on:

- juhendis eeldatakse eelteadmisi Ubuntust (näiteks IP aadressi leidmine),
- puuduvad juhised youBoti sisse-välja lülitamiseks,
- puuduvad juhised ssh-ühenduse loomiseks,
- juhend sisaldab üleliigseid käske, mis on juba vaikimisi seadistatud ning mida pole vaja tegelikult sisestada,
- puuduvad juhised youBoti kasutamiseks simulatsioonikeskkonnas.

## 2.3 Töö eesmärk ja nõuded tööle

Antud töö eesmärgiks on uuendada TÜ tehnoloogiainstituudis kasutava KUKA youBot tarkvara, vahetada välja roboti pardaarvuti ning luua juhendid roboti kasutamiseks ja seadistamiseks.

Tööle seati järgmised nõuded:

- KUKA youBoti juhtimine toimub kasutades ajakohast ROSi distributsiooni ja versiooni.
- Tagatud on ROSi tugi KUKA youBoti põhifunktsionaalsusele:
  - roboti sõitmine ROS Navigation teekide abil,
  - manipulaatori juhtimine MoveIt! vahenditega,
  - laserskanneri andmete kujutamine graafilises RViz keskkonnas,
  - roboti simuleerimine Gazebos.
- ROSi algajale kasutatavad kiirkäivitusskriptid robotiga sõitmiseks ning manipulaatori esmaseks kasutamiseks.
- Riistvara uuendamisel on oluline:
  - uus arvuti peab olema väiksem kui 172 mm x 172 mm x 54 mm,
  - arvuti peab olema monteeritav ka ilma robotit lahti võtmata.
- Nii uue kui esialgse riistvara jõudlust hinnatakse kvantitatiivselt.
- Kaks juhendit KUKA youBoti kasutamiseks:
  - juhend youBoti pardaarvuti algseks üles seadmiseks (kasutatav eksperdile),
  - juhend, mis sisaldab juhiseid algajale KUKA youBoti manipulaatori kasutamiseks ning robotiga ringi sõitmiseks.

### 3 Töö käik

Töö jagunes neljaks ülesandeks: riistvara uuendamine (peatükk 3.1), tarkvara uuendamine (peatükk 3.2), juhendite loomine ja testimine (peatükk 3.3), jõudlustestide abil süsteemi kirjeldamine (peatükk 3.4).

Töö alguses tuli kõigepealt iseloomustada ja testida esialgset süsteemi - teha jõudlustestid ning kontrollida erinevate ROS-kimpude funktsionaalset toimimist. Seejärel võtta robot lahti, uurida kuidas on integreeritud esialgne pardaarvuti ning seejärel teha asendus.

Järgmiseks tuli uuele pardaarvutile paigaldada ajakohane Ubuntu koos ROSiga. Kõik algse arvuti peal testitud ROS-kimbud tuli paigaldada uuele pardaarvutile ning veenduda nende funktsionaalsuses. Seejärel teostati uue riist- ja tarkvara jõudlustestimine.

Viimase sammuna koostati kaks erinevat veebijuhendit KUKA youBoti kasutamiseks ja seadistamiseks. Eesmärgiks oli luua süsteem, kus roboti pardaarvutiga ühendutakse üle traadita võrguühenduse kasutades ssh-ühendust (joonis 2). Vajaduse korral on võimalik ka kaugarvuti (*remote computer*) ühendada kaabliga (joonis 2).



**Joonis 2.** KUKA youBoti kasutamine. Roboti kujutis allikast [9] ja sülearvuti kujutis allikast [26].

## 3.1 Riistvara uuendamine

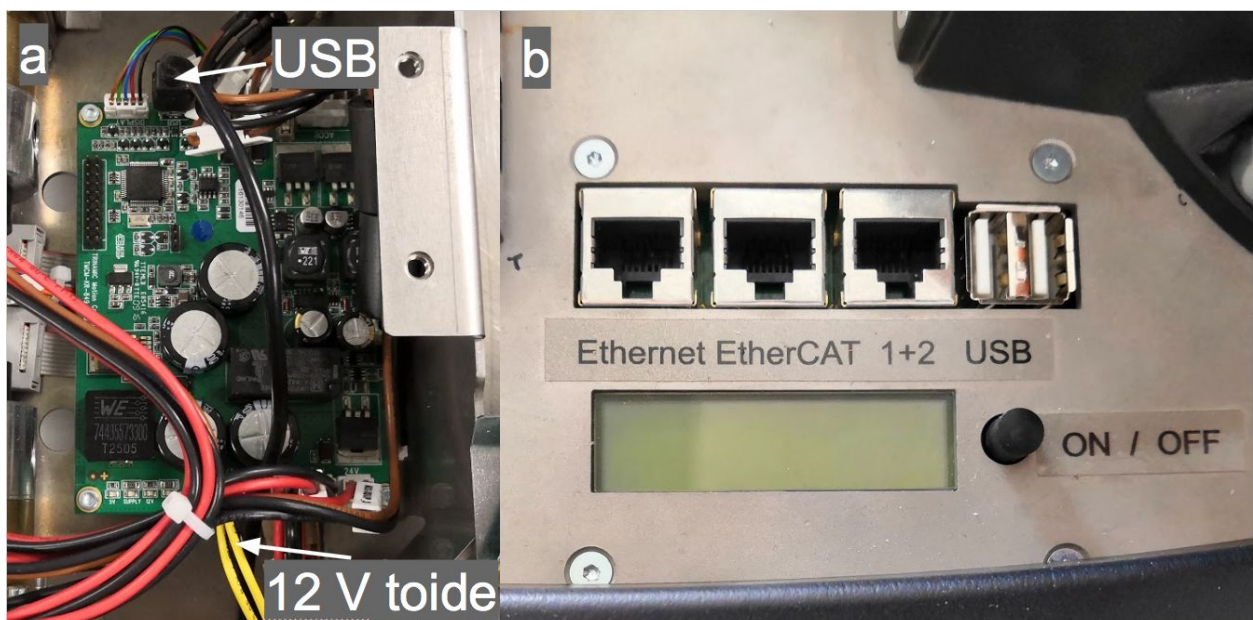
### 3.1.1 KUKA youBoti ühendus pardaarvutiga

Esimene samm roboti pardaarvuti vahetusel oli roboti lahti võtmine ning uurimine, millised ühendused on youBoti ning algse pardaarvuti vahel.

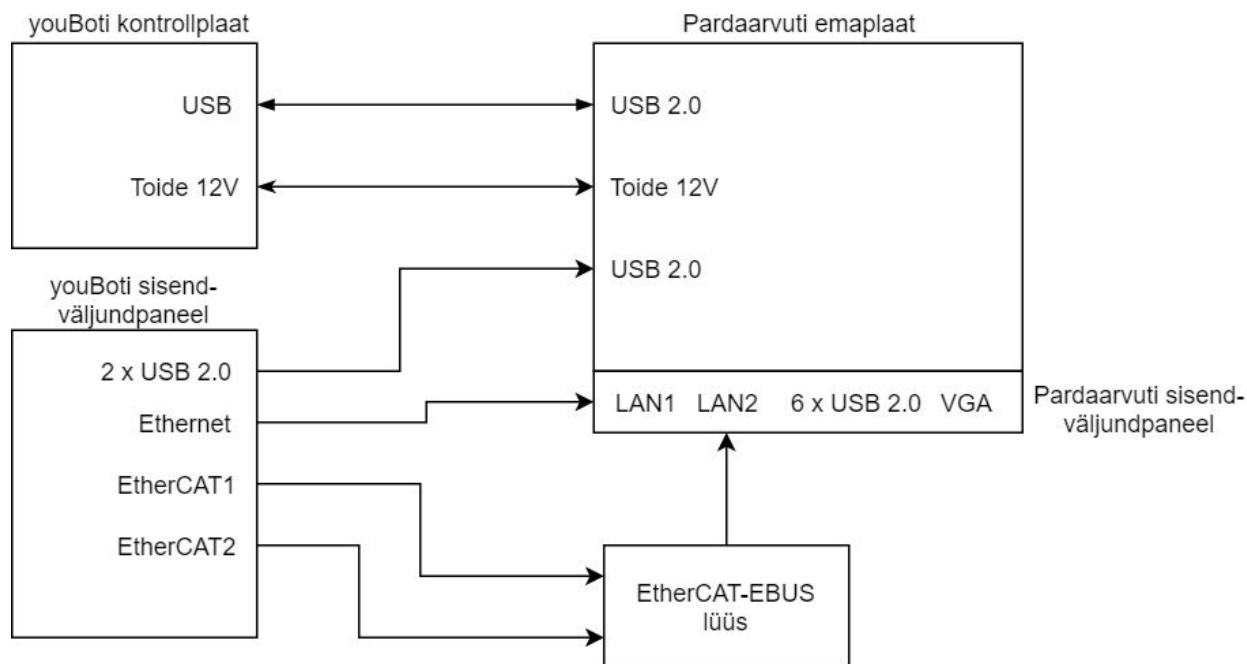
Algse pardaarvuti lahti võtmisel selgus, et mõlema arvutil oleva Ethernet ühenduse jaoks on emaplaadil olemas eraldi võrgukaardid.

Ühendused roboti ning algse pardaarvuti vahel on välja toodud joonisel 4, millelt on näha, et KUKA youBoti pardaarvuti on ühendatud 2 komponendiga:

- 1) alusvankri pealispinnal olev sisend-väljund paneel (joonis 3-b), kus Ethernet pesa on ühendatud otse arvutiga ja kaks EtherCAT pesa on ühendatud arvuti külge läbi EtherCAT-EBUS lüüsi,
- 2) elektroonikaplaad, mida käesolevas töös nimetame kontrollplaadiks (joonis 3-a).



**Joonis 3.** KUKA youBoti kontrollplaat (a) ja väline sisend-väljundportide paneel (b).



**Joonis 4.** KUKA youBoti pardaarvuti ühendused.

### 3.1.2 Intel NUC ülevaade

Uueks arvutiks valiti Intel NUC (*Next Unit of Computing*), mis on Inteli poolt disainitud miniatuurne lauaarvuti [27].

Uue arvuti valikul jälgiti paigaldatava tarkvara riistvaralisi miinimumnõudeid, kuid kuna ROSil riistvaralisi miinimumnõudeid ei ole, siis lähtuti Ubuntu 16.04 omadest [28]. Roboti sisse paigaldatava arvuti suurus ei võinud ületada 172 mm x 172 mm x 54 mm, mistõttu oli oluline ka arvuti suurus.

Uueks pardaarvutiks valiti Intel NUC tootenumbri D54250WYK ja mõõtmetega 116.6mm x 112mm x 34.5mm [18], mille spetsifikatsioon on toodud tabelis 2. Muutmälu ning püsिमälu maht on antud arvutile spetsiifilised ning vajadusel uuendatavad.

**Tabel 2.** Intel NUC spetsifikatsioon [29].

Protsessor	Intel Core i5-4250U
------------	---------------------

Muutmälu	4 GB DDR3 (toetab kuni 16 GB)
Püsिमälu	32 GB mSATA SSD
Pordid	4 x USB 3.0, 1 x mini HDMI, 1 x mini DisplayPort, 1 x LAN, 1 x 3,5mm
Toide	12-19 V

---

### 3.1.3 Pardaarvuti ühendamine

Esimeseks sammuks arvuti vahetusel oli toite ühendamine. Esialgse arvuti puhul tuli toide otse youBoti kontrollplaadist emaplaati, kus see oli ühendatud 4-viigulisse Molex pessa (joonis 5-a). Kuna aga Intel NUC toitepesa on välise diameetriga 5,5 mm sisemise diameetriga 2,5 mm DC pesa (joonis 5-b), siis loodi vastav üleminek (joonis 5-c).



**Joonis 5.** 4-viiguline Molex pesa (a), Intel NUC DC pesa (b) ja loodud toitekaabli üleminek (c).

Algsel arvutil toimus sisselülitamine roboti peal olevast nupust (joonis 3-b), mis lülitas sisse kontrollplaadist arvuti toite, käivitades koheselt ka arvuti. Vaikimisi toimub Intel NUCi sisselülitus aga arvuti korpusel olevast nupust, millele ei ole ligipääsu kui pardaarvuti on roboti sees. Selleks, et Intel NUC lülituks sisse kohe kui toidet saab, seati BIOSis parameeter *After Power Failure* väärtusele *Power On*.

Algse arvuti lahti võtmisel selgus, et emaplaadil oli kaks võrgukaarti, millest üks oli EtherCAT ühendus roboti kontrollimiseks ja teine ühendas roboti peal olevat Ethernet pesa. Intel NUCil on

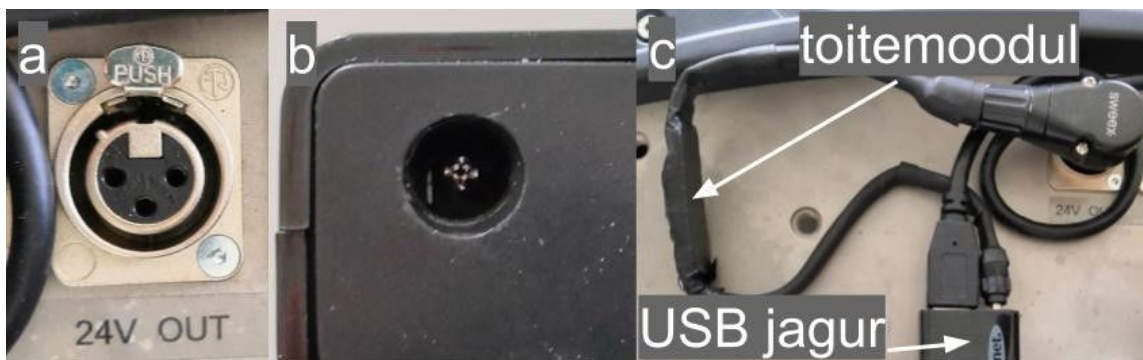


aga ainult üks võrgukaart [29]. Selleks, et oleks võimalik säilitada mõlemad ühendused, kasutati LogiLink UA0184A USB võrgukaarti (joonis 8).

KUKA youBoti kontrollplaadi mini USB pesa ja emaplaadi vahel olev kaabel asendati tavalise mini USB -> USB-A kaabliga, mis ühendus Intel NUC välisesse USB pesa.

KUKA youBoti kere kattepaneelis paiknevad USB 2.0 pesad, mis võimaldavad mugavalt pardaarvutiga väliseid seadmeid ühendada. Kuna aga Intel NUCil on USB 3.0 pesad, siis sinna USB 2.0 pesade ühendamise oleks väga suur kiiruse langus. Selle asemel paigaldati robotile nelja pesaga Ednet 85155 USB 3.0 jagur välise toitepingega 5 V. Kattepaneeli kaks USB 2.0 pesa jäeti ühendamata ja kaeti kinni.

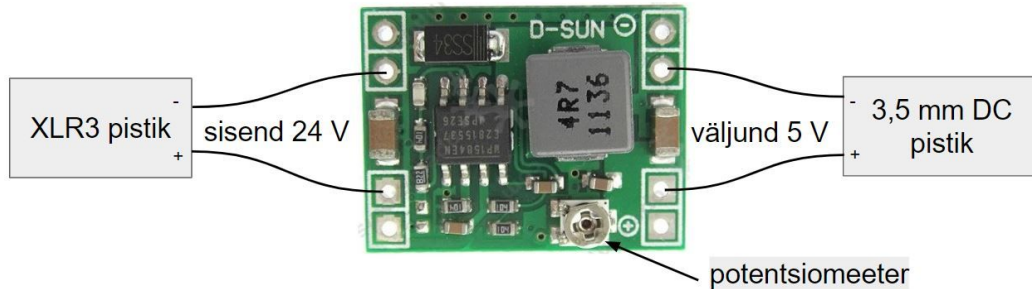
KUKA youBotil ei ole 5 V väljundit, kuid roboti alusvankril on olemas kaks XLR3 24 V väljundit (joonis 6-a), mis on mõeldud manipulaatori toitmiseks. Antud robotil on kasutusel ainult üks manipulaator, mistõttu ühendati USB jaguri lisatoite sisend alusvankri teise 24 V väljundisse.



**Joonis 6.** KUKA youBoti XLR3 väljund (a), USB jaguri DC sisend (b) ja valminud toitekaabel (c).

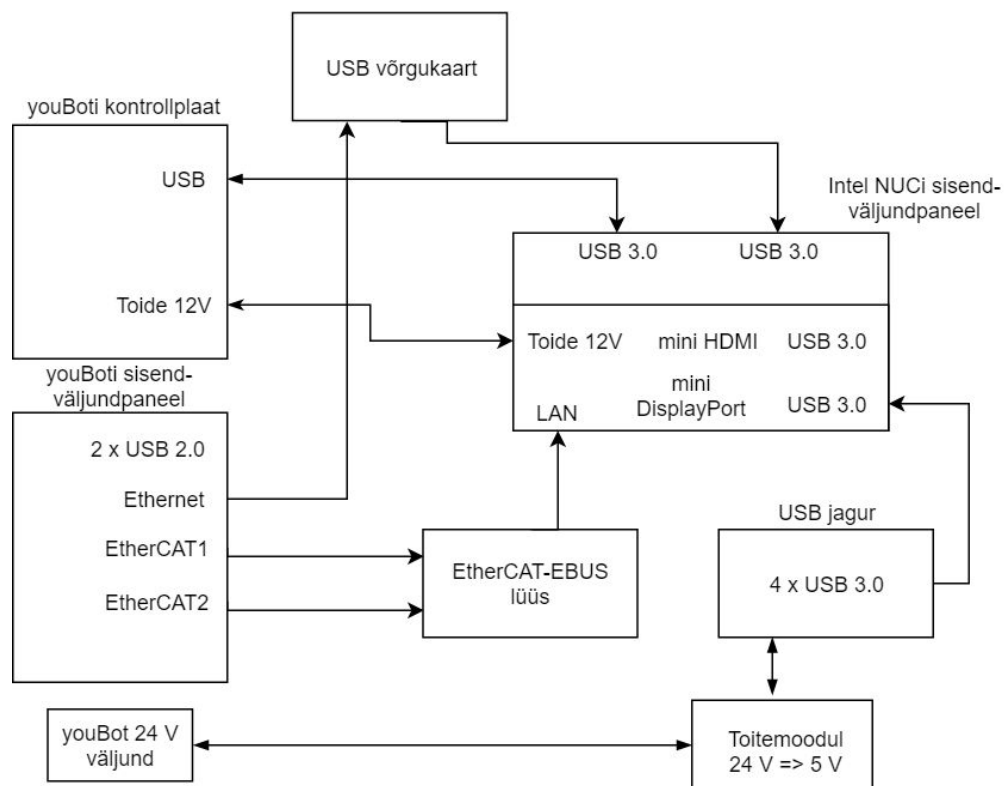
Valmistati kaabel (joonis 6-c), mis ühendab USB jaguri 3,5 mm DC sisendit (joonis 6-b) ja youBoti XLR3 24 V väljundit (joonis 6-a) ning samas muundab 24 V pinget 5 V peale. Selle jaoks osteti reguleeritav toitemoodul MPS MP1584EN, mis reguleeriti 24 V sisendi korral välja andma 5 V. Reguleerimiseks ühendati sisendpinge ja keerati toitemoodulil olevat

potentsiomeetrit kuni väljundist mõõdetud pinge oli 5 V. Seejärel joodeti sisendi poole XLR3 pistik ning väljundi poole USB jaguri välise diameetriga 3,5 mm DC sisendpistik (joonis 7).



**Joonis 7.** USB jaguri toitekaabel. Toitemooduli MPS MP1584EN kujutis allikast [30].

USB jagur kinnitati roboti alusvankri peale teiste portide kõrvale teibitava takjapaelaga, selleks et seda oleks võimalik ka vajadusel eemaldada.



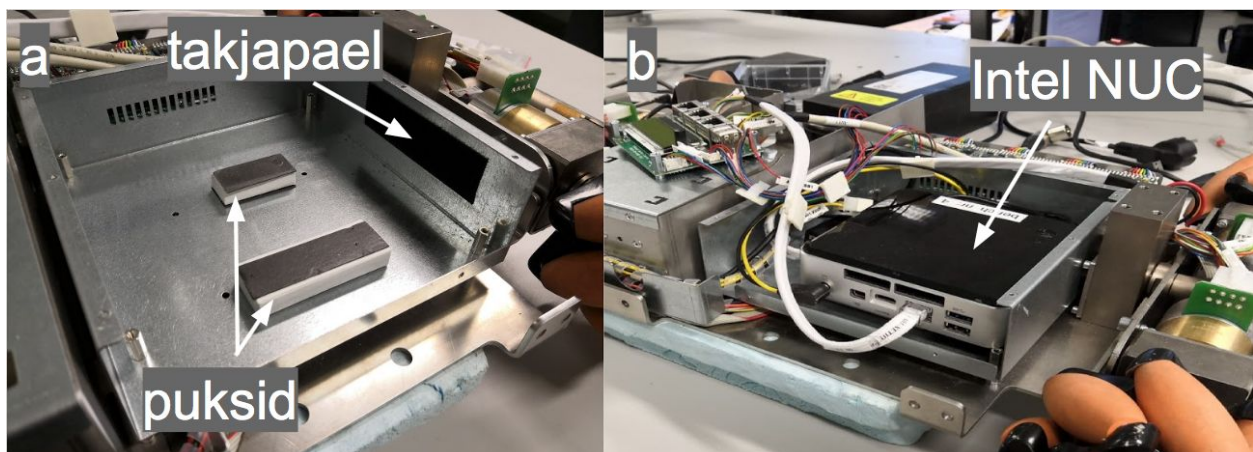
**Joonis 8.** Intel NUC ühendused KUKA youBotiga.

### 3.1.4 Arvuti kinnitamine roboti sisse

KUKA youBoti algse pardaarvuti jaoks oli robotis olemas spetsiaalne plekist karp (mõõtmed 172 mm x 172 mm x 54 mm). Antud Intel NUCi ei ole võimalik abidetaile kasutamata kinnitada ning algse pardaarvuti karp oli Intel NUCi jaoks liiga suur, mistõttu tuli uue arvuti kinnitamiseks samasse kohta välja mõelda uus moodus.

Intel NUC ühel küljel asuvate jahutusavade tõttu tuli ka jälgida, et antud külge ei saaks asetatud vastu roboti sisemist seina ega sellele liiga lähedale.

Uue arvuti jaoks kinnitati roboti külge kahepoolse teibiga kaks väikest plastikust puksi (joonis 9-a), mille peale uus arvuti toetus. Need tõstsid arvuti kõrgemale, et oleks olemas ligipääs portidele (joonis 9-b). Selleks et arvuti roboti sees ringi ei liiguks, kuid samas oleks arvutit võimalik ilma robotit lahti võtmata eemaldada, kinnitati arvuti roboti ühe sisemise seina külge kleebitava takjapaelaga (joonis 9-a).



**Joonis 9.** Intel NUCi kinnitamiseks kasutatud puksid ja takjapael (a) ja Intel NUC kinnitatuna robotisse (b).

## 3.2 Tarkvara uuendamine

Algse arvuti peal olnud tarkvara oli Ubuntu 14.04 ja ROS Indigo, mistõttu loogiline samm edasi oleks üle minna ROS Kineticu peale. ROS Kinetic on järgmine ROS LTS versioon pärast Indigot, mis tähendab et nende versioonide vahel võib eeldada minimaalset erinevust, mis teeb ülemineku lihtsamaks. ROS Kineticu tugi kestab kuni 2021. aasta aprillini [15], kuid samas on antud distributsioon olnud piisavalt kaua väljas, et ROSi põhilised kimbud MoveIt! ja Navigation oleksid stabiilsed. Lisaks olid youBoti kimbud `youbot_description` ja `youbot_driver` ROS Kineticu puhul paigaldatavad paketi halduri abil.

ROS Kinetic on kasutatav Ubuntu 16.04 peal, mis tähendas, et uuele arvutile tuli paigaldada Ubuntu 16.04 ja ROS Kinetic. Intel NUCile Ubuntu 16.04 ning ROS Kineticu paigaldamise ning seadistamisel järgiti juhendeid [31] ja [32]. KUKA youBoti ROS-kimbud paigaldati algselt järgides tabelit 3.

**Tabel 3.** KUKA youBoti kimpude paigaldamine ROS Indigol ja ROS Kineticul.

ROS-kimp	Paigaldamine ROS Indigol	Paigaldamine ROS Kineticul
<code>youbot_driver</code>	paketi halduriga	paketi halduriga
<code>youbot_description</code>	paketi halduriga	paketi halduriga
<code>youbot_driver_ros_interface</code>	paketi halduriga	catkin-töökaustas
<code>youbot_manipulation</code>	catkin-töökaustas	catkin-töökaustas
<code>youbot_simulation</code>	catkin-töökaustas	catkin-töökaustas
<code>youbot_navigation</code>	catkin-töökaustas	catkin-töökaustas
<code>hokuyo_node</code>	paketi halduriga	kimp uue nimega <code>urg_node</code>
<code>urg_node</code>	ei paigaldatud	paketi halduriga

### 3.2.1 ROS-kimpude paigaldamisel tekkinud probleemid

Kui youbot\_description kimp paigaldati Ubuntu paketihoolduri poolt, siis youBot ROS-draiveri käitamisel saadi järgnev veateade:

*xacro: Traditional processing is deprecated. Switch to --inorder processing!*

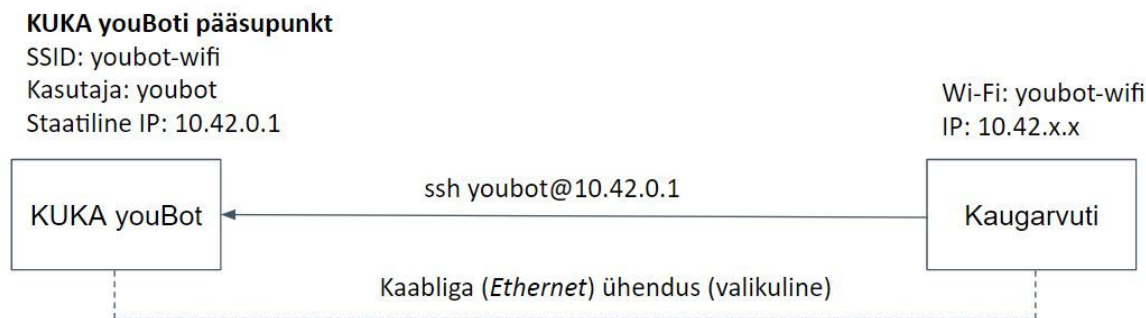
Kui aga laadida alla youbot\_description kimbu lähtekood ja see catkin-töökaustas kompileerida, siis youBoti ROS-draiver käivitus tõrgeteta.

Kimbu youbot\_manipulation kompileerimisel selgus, et ROS Kineticus peab kõikidel MoveIt kasutataval kimpudel C++ keele standardiks olema c++11. C++ standardi muutmiseks lisati vastavate kimpude CMakeLists.txt faili rida `add_compile_options(-std=c++11)` [33].

Rajaplaneerimiseks ja autonoomseks juhtimiseks kasutatav kimp youbot\_navigation kompileeriti catkin-töökaustas. Kuna hokuyo\_node on ROS Kineticust alates uuendatud ning kannab nime urg\_node, siis paigaldati uuele pardaarvutile urg\_node kimp. Vastavalt sai eelnevalt hokuyo\_node kasutanud käivitusfail ümber kirjutatud urg\_node kasutama.

### 3.2.2 Pääsupunkti ülesseadmine

Roboti kasutamise lihtsustamiseks seati youBoti pardaarvutis üles pääsupunkt, kus robotil on staatiline IP aadress, mistõttu on võimalik kaugarvutiga läbi ssh robotisse ühenduda. Pääsupunkti üles seadmiseks kasutati juhendit [34] ja seadistamisel kasutati joonisel 10 toodud väärtuseid.



**Joonis 10.** KUKA youBoti kasutamine kaugarvutis.

### 3.3 IMS Robotics GitHub youBoti juhendid

Töö tulemusena valmis kaks juhendit [35] ja [36]. Kuna GitHub võimaldab versioonihaldust, siis laeti juhendid üles IMS Robotics GitHubi. Juhendid kirjutati *Markdown* [37] keeles, sest see on GitHubi README failide vaikimisi formaat.

Esimene juhend [35] sisaldab youBoti pardaarvuti üles seadmiseks vajalikke tegevusi:

- Ubuntu 16.04 ja ROS Kineticu paigaldamine,
- catkin-töökausta loomine ja seadistamine,
- ROS-kimpude paigaldamine,
- EtherCAT ühenduse seadistamine,
- kaugarvuti kasutamiseks mõeldud pääsupunkti ülesseadmine ja seadistamine.

Teine juhend [36] sisaldab juhiseid algajale KUKA youBoti kasutamiseks:

- Ubuntu 16.04 ja ROS Kineticu paigaldamine,
- kaugarvuti ülesseadmine,
- ühenduse loomine youBoti ja kaugarvuti vahel,
- KUKA youBoti sisse-välja lülitamine,
- manipulaatori ning rataste juhtimine nii päris robotil kui simulatsioonis.

### 3.4 Tulemuste analüüs

Lisaks kõikide algsel arvutil töötanud funktsionaalsuste kontrollimisele Intel NUCil, tehti nii töö alguses kui lõpus youBoti pardaarvutiga jõudlustestid.

Kasutades Ubuntu kimpe *HardInfo* ja *Phoronix Test Suite*, tehti pardaarvutite hindamiseks järgmised testid:

- 1) CPU *Blowfish*
- 2) CPU *CryptoHash*
- 3) CPU *Fibonacci*

- 4) CPU *N-Queens*
- 5) FPU FFT
- 6) FPU *Raytracing*
- 7) *SciMark* v2.0
- 8) RAM *Speed*

Lisaks eelnevale mõõdeti manipulaatori liigutusplaneerimisel kuluvat aega. Selleks määrati robotmanipulaatorile ROS Rviz kasutajaliideses 10 juhuslikult valitud asendit, planeeriti neisse teekond ning salvestati planeerimisele kulunud aeg.

Tabelis 4 on välja toodud kõikide jõudlustestide keskmised tulemused. Manipulaatori planeerimise aja tulemus on keskmistatud üle 10 katse ja kõik ülejäänud testid üle kolme.

**Tabel 4.** *Jõudlustestide tulemused (parem tulemus on rasvases kirjas).*

Testi nimi	Algne arvuti	Intel NUC
Manipulaatori liigutusplaneerimise aeg	2,40 s	<b>0,0225 s</b>
SciMark v2.0	56,34 Mflops	<b>114,10 Mflops</b>
Himeno benchmark v3.0	126,7 Mflops	<b>1236,40 Mflops</b>
CPU Blowfish	8,59 s	<b>5,26 s</b>
CPU CryptoHash	112,749 Mib/s	<b>309,73 Mib/s</b>
CPU Fibonacci	8,20 s	<b>1,74 s</b>
CPU N-Queens	23,81 s	<b>6,75 s</b>
FPU FFT	9,34 s	<b>1,03 s</b>
FPU Raytracing	26,61 s	<b>4,87 s</b>
RAM Speed	Ei läbinud testi	<b>6544,95 MB/s</b>

Tabelist 4 on näha, et Intel NUC oli igas jõudlustestis algsest youBoti pardaarvutist parem. Kõige suurem muutus toimus manipulaatori liigutusplaneerimise aja juures, kus uue arvuti

kasutamisel vähenes planeerimise aeg enam kui 100 korda. Lisaks saab välja tuua *RAM Speed* testi, kus algne pardaarvuti ei suutnud testi ühelgi katsel 45 minuti jooksul läbida, kuid Intel NUC läbis testi paari minutiga. Protsessori testidest toimus kõige suurem muutus *Himeno* jõudlustesti juures, kus Intel NUC tulemus oli algsest arvutist 10 korda parem.



## 4 Lõppjärelused ja võimalikud tegevused tulevikus

Töö tulemusena uuendati Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudi KUKA youBoti tarkvara ja riistvara. Üleminek ROS Kineticu ja Ubuntu 16.04'le õnnestus ning kõik vajalikud ROS-kimbud toimivad ka ROS Kineticu peal. Tehtud jõudlustestide põhjal saab väita, et tarkvara ja riistvara uuendamise tulemusena tõusis KUKA youBoti pardaarvuti jõudlus kuna paigaldatud uus pardaarvuti oli igas tehtud jõudlustestis algsest arvutist parem (tabel 3). Kõige märkimisväärsimaks tulemuseks võiks lugeda RVizis tehtud manipulaatori planeerimise kiiruse mõõtmise, kus Intel NUC oli algsest arvutist 100 korda kiirem (tabel 3).

Töö käigus ei uuendatud tarkvara hetkel kõige uuema ROSi distributsiooni peale. Tulevikus on võimalik edasi minna ROS Melodicu peale (EOL 2023 mai), mis on ROS Kineticust (EOL 2021 aprill) järgmine LTS distributsioon [15]. Lisaks on võimalik tulevikus üle minna hetkel veel arenduses oleva ROS 2 peale [38].

Tulevikus oleks võimalik ka robot veelgi kasutajasõbralikumaks teha - näiteks võimaldada KUKA youBoti juhtimine puldiga. Lisaks võiksid kõik KUKA youBoti vajalikud kimbud olla paigaldatavad paketi halduri abil.

# Kokkuvõte

Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudis on olemas ROS-toega mobiilne robot KUKA youBot, mida enam ei toodeta ja mille tootjapoolne tugi on lõppenud, kuid robot on siiski oma funktsionaalsuselt päevakajaline nii teaduse kui õppetöö eesmärkidel. Robotil puudub ajakohane ROSi distributsioon ja riistvara, mille tõttu ei ole võimalik robotit tänapäevastes lahendustes kasutada.

Antud töö eesmärgiks oli uuendada Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudi KUKA youBoti riistvara ja ROSi distributsiooni ning kirjutada juhendid antud roboti kasutamiseks.

Töö tulemusena vahetati välja KUKA youBoti pardaarvuti, paigaldati sellele uuemad ROSi ja Ubuntu distributsioonid ning kontrolliti algse pardaarvuti peal töötanud ROS-kimpude funktsionaalsuseid ka uue pardaarvuti peal. Mõlema arvutiga tehtud jõudlustestide põhjal saab väita, et roboti pardaarvuti vahetusel suurenes jõudlus märgatavalt.

## Viited

- [1] M. Waibel, „KUKA’s youBot Mobile Manipulator Unveiled“, IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News, 11 juuni 2010. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/scoop-kukas-youbot>. [Kasutatud 14 märts 2019].
- [2] „Kuka youBot omni-directional platform“, Generation Robots. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.generationrobots.com/en/402185-kuka-youbot-mobile-platform.html>. [Kasutatud 15 märts 2019].
- [3] „Kuka Youbot“, Larsen team. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://team.inria.fr/larsen/robots/kuka-youbot/>. [Kasutatud 22 aprill 2019].
- [4] „KUKA youBot“, Trinamic. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.trinamic.com/solutions/success-stories/kuka-youbot/>. [Kasutatud 15 märts 2019].
- [5] „Brief Introduction of Mecanum Wheel“, Robotshop. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/mecanum-wheels-introduction-10009.pdf>.
- [6] „EtherCAT - the Ethernet Fieldbus“, EtherCAT Technology Group. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ethercat.org/en/technology.html>. [Kasutatud 15 mai 2019].
- [7] „eBUS background“, GitHub. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://github.com/john30/ebusd/wiki/eBUS-background>. [Kasutatud 15 mai 2019].
- [8] „YouBot Detailed Specifications“, KUKA youBot Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/YouBot\\_Detailed\\_Specifications](http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/YouBot_Detailed_Specifications). [Kasutatud 22 märts 2019].
- [9] „KUKA youBot, robot mobile omni-directionel avec bras“, Generation Robots. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.generationrobots.com/en/402093-kuka-youbot-robot-mobile-omni-directionel-avec-bras.html>. [Kasutatud 15 märts 2019].
- [10] „ROS.org | About ROS“, ROS. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ros.org/about-ros/>. [Kasutatud 09 märts 2019].

- [11] M. Quigley, B. Gerkey, ja W. D. Smart, Programming Robots with ROS. 2015.
- [12] „Packages“, ROS Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://wiki.ros.org/Packages>. [Kasutatud 13 aprill 2019].
- [13] „ROS Packages Installation“, ROS Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://wiki.ros.org/qb\\_hand/Tutorials/ROS%20Packages%20Installation](http://wiki.ros.org/qb_hand/Tutorials/ROS%20Packages%20Installation). [Kasutatud 06 mai 2019].
- [14] „Catkin Workspaces“, ROS Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://wiki.ros.org/catkin/workspaces>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [15] „Distributions“, ROS Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://wiki.ros.org/Distributions>. [Kasutatud 15 märts 2019].
- [16] „REP 3 - Target Platforms“, ROS. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ros.org/repos/rep-0003.html>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [17] „Releases“, Ubuntu Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://wiki.ubuntu.com/Releases>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [18] „Youbot driver“, KUKA youBot Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/Youbot\\_driver](http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/Youbot_driver). [Kasutatud 15 aprill 2019].
- [19] „ROS Wrapper“, KUKA youBot Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/ROS\\_Wrapper](http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/ROS_Wrapper). [Kasutatud 14 aprill 2019].
- [20] youbot, „youbot/youbot\_description“, GitHub, 22-juuli 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://github.com/youbot/youbot\\_description](https://github.com/youbot/youbot_description). [Kasutatud 15 aprill 2019].
- [21] S. Schneider, „svenschneider/youbot\_manipulation“, GitHub, 26-veebr 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://github.com/svenschneider/youbot\\_manipulation](https://github.com/svenschneider/youbot_manipulation). [Kasutatud 15 aprill 2019].
- [22] „Gazebo simulation“, KUKA youBot Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/Gazebo\\_simulation](http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/Gazebo_simulation). [Kasutatud 15 aprill 2019].
- [23] „ROS navigation“, KUKA youBot Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/ROS\\_navigation](http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/ROS_navigation). [Kasutatud 15 aprill 2019].
- [24] „hokuyo\_node“, ROS Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://wiki.ros.org/hokuyo\\_node](http://wiki.ros.org/hokuyo_node).

[Kasutatud 15 aprill 2019].

- [25] „ut-ims-robotics/youbot at indigo“, GitHub. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://github.com/ut-ims-robotics/youbot/tree/indigo>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [26] „HP Laptop - 15t touch with Intel i7“, HP Store. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://store.hp.com/us/en/pdp/hp-laptop-15t-touch-with-intel-i7-4hl43av-1>. [Kasutatud 15 mai 2019].
- [27] „Intel® NUC“, Intel. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/boards-kits/nuc.html>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [28] „Installation/SystemRequirements“, Ubuntu Community Help Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://help.ubuntu.com/community/Installation/SystemRequirements>. [Kasutatud 25 märts 2019].
- [29] „Intel NUC Specs Guide“, Intel. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/guides/one-pagers-nuc-specs-guide.pdf>.
- [30] „MP1584EN Mini DC-DC Step Down Module“, Open Impulse. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.openimpulse.com/blog/products-page/product-category/mp1584en-mini-dc-dc-step-module/>. [Kasutatud 11 mai 2019].
- [31] Canonical Web Team, „Install Ubuntu 16.04 desktop | Ubuntu tutorials“, Ubuntu Tutorials, 18 aprill 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://tutorials.ubuntu.com/tutorial/tutorial-install-ubuntu-desktop-1604>. [Kasutatud 22 aprill 2019].
- [32] „Ubuntu install of ROS Kinetic“, ROS Wiki. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://wiki.ros.org/kinetic/Installation/Ubuntu>. [Kasutatud 22 aprill 2019].
- [33] „`/opt/ros/kinetic/include/moveit/macros/declare_ptr.h:52:16: error: ‘shared_ptr’ in namespace ‘std’ does not name a template type typedef std::shared_ptr<Type> Name##Ptr`“, GitHub. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://github.com/ros-planning/moveit/issues/462>. [Kasutatud 22 aprill 2019].

- [34] „How to setup an Access Point mode Wi-Fi Hotspot?“, Ask Ubuntu. [Võrgumaterjal].  
Saadaval:  
<https://askubuntu.com/questions/180733/how-to-setup-an-access-point-mode-wi-fi-hotspot>.  
[Kasutatud 12 mai 2019].
- [35] „Setting up KUKA youBot’s onboard computer“, GitHub, 21 märts 2019. [Võrgumaterjal].  
Saadaval:  
<https://github.com/ut-ims-robotics/tutorials/wiki/Setting-up-KUKA-youBot%27s-onboard-computer>. [Kasutatud 07 mai 2019].
- [36] „ut-ims-robotics/youbot“, GitHub. [Võrgumaterjal]. Saadaval:  
<https://github.com/ut-ims-robotics/youbot/tree/kinetic>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [37] „Markdown“, Daring Fireball. [Võrgumaterjal]. Saadaval:  
<https://daringfireball.net/projects/markdown/>. [Kasutatud 06 mai 2019].
- [38] „ROS2 Overview“, ROS. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://index.ros.org/doc/ros2/>.  
[Kasutatud 06 mai 2019].

# Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kättriin Julle

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

**“Roboti KUKA youBot riistvara ja ROS-tarkvara uuendamine”,**

mille juhendajad on Karl Kruusamäe ja Robert Valner,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Kättriin Julle*

**16.05.2019**